



**Susana Cardoso  
Pereira**

**As ciências atmosféricas e o meio ambiente nas  
escolas: Implementação de um Projecto**



**Susana Cardoso  
Pereira**

## **As ciências atmosféricas e o meio ambiente nas escolas: Implementação de um Projecto**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia e Oceanografia Física, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor João Corte-Real, Professor Catedrático do Departamento de Física da Universidade de Évora e co-orientação do Dr. Sérgio Ferreira, Consultor da empresa de consultoria Audimobil, Lda.

Este estudo foi desenvolvido no âmbito do Projecto PROCLIRA (CV/PVI/1175) financiado pela Ciência Viva, FEDER e POCI 2010.

À minha filha Maria,  
Aos meus pais e ao Nuno  
pelo seu inestimável apoio,

## **o júri**

presidente

**Professor Doutor Alfredo Moreira Caseiro Rocha**

Professor associado do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor João Corte-Real**

Professor catedrático do Departamento de Física da Universidade de Évora

**Doutor Sérgio Ferreira**

Consultor da empresa de consultoria Audimobil, Lda.

**Professor Doutor João Carlos Andrade Santos**

Professor auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

## **agradecimentos**

Este trabalho foi financiado no âmbito de um projecto da Ciência Viva.

Agradeço ao Professor João Corte-Real pela oportunidade e confiança que em mim depositou, desde o início do projecto, bem como a amizade e apoio que foi demonstrando durante toda a sua execução.

Desejo agradecer ao Dr. Sérgio Ferreira pela sua disponibilidade, confiança e por ter tornado este trabalho possível. Pela amizade e apoio mostrado nos momentos difíceis, que me fez acreditar que tudo seria possível, e pelas oportunidades que me concedeu.

Ao Professor Gandu pelas “dicas” de modelação e pela prontidão e solícita ajuda, na resolução de problemas técnicos, surgidos na implementação operacional do modelo de previsão BRAMS/RAMS.

Não posso deixar de mencionar o Professor Alfredo Rocha, que desde os meus últimos anos de Licenciatura até a esta parte, me tem ajudado com os seus conselhos, apoio e amizade.

Aos meus colegas Alexandre e Alexandra pelo ambiente profissional proporcionado neste último ano.

Ao Nuno, companheiro incontornável que nas horas mais difíceis me ajudou.

**palavras-chave**

ciências atmosféricas, meteorologia, meio ambiente, escola, novas tecnologias, formação.

**resumo**

O presente trabalho propõe-se em divulgar a implementação de um projecto de índole científico educacional, na área das ciências atmosféricas, entre alunos do ensino secundário. O objectivo do projecto é o de motivar o estudo das ciências atmosféricas e aumentar a literacia científica entre os alunos do Ensino Secundário, criando uma rede de Estações Meteorológicas Automáticas (EMAS), instaladas nas escolas. Os dados reproduzidos pelas EMAS serão armazenados numa base de dados, disponível via Web, com acesso nas escolas pelos alunos e professores, a ser utilizada para fomentar a experimentação do estudo do estado do tempo e clima, através da elaboração de projectos pedagógicos inseridos na disciplina de Projecto Área Escola. Paralelamente foi realizada a implementação operacional de um modelo de previsão regional BRAMS/RAMS para três domínios diferentes: Atlântico Norte, Portugal Continental e Lisboa e Vale do Tejo, com resolução de 50 km, 12.5 km e 3.125 km, respectivamente. No final do projecto, os dados amostrados puderam ser usados para a validação do modelo operacional, entre outros. Elaborou-se uma série de conteúdos científicos, abrangendo áreas das ciências da Terra e do Espaço. Por último, um dos objectivos do projecto foi a elaboração de um Curso de Formação dirigida a professores do Ensino Secundário.

**keywords**

Atmospheric sciences, meteorology, environment, schools, new technologies, formação, science education

**abstract**

The work proposal is to disclose the implementation of a scientific education project nature, in the area of the atmospheric sciences, among school students. The main goal of this study is to improve the skills in atmospheric sciences promoting the scientific acknowledgment among junior-high (k9-12) students, implementing an Automatic Weather Stations (AWS) network at schools.

The measured data (from AWS) are stored in a database, available on the internet, accessed by students and teachers. The students will use these data in order to develop scientific projects about weather and climate in classes.

A second approach was the operational use of the numerical prediction model BRAMS/RAMS for three different model domains and resolution: North Atlantic (50 km), Portugal Mainland (12.5 km) and for the Lisbon metropolitan area (3.125 km).

The stations data will be use to validate the numerical prediction model.

A set of scientific classes covering several areas of earth science were developed as well an Education and Formation lectures for the junior-high teachers.

# Índice

<i>Agradecimentos</i>	<i>i</i>
<i>Resumo</i>	<i>iii</i>
<i>Abstract</i>	<i>iv</i>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Actividades Desenvolvidas.....</b>	<b>3</b>
2.1 Enquadramento Geral da Iniciativa .....	3
2.2 As Tecnologias na Educação .....	5
2.3 Estrutura do Projecto.....	5
2.4 Plano de Trabalho .....	7
<b>3. Estações Meteorológicas Automáticas.....</b>	<b>9</b>
3.1 Dados das estações.....	11
3.2 Acesso aos dados das EMAS .....	11
<b>4. Base de Dados .....</b>	<b>13</b>
4.1 Introdução.....	13
4.2 A Base de Dados do Projecto .....	14
<b>5. Modelação Regional.....</b>	<b>17</b>
5.1 O Modelo Numérico BRAMS/RAMS .....	17
5.2 Descrição do Modelo BRAMS/RAMS .....	18
5.3 Aplicação do Modelo BRAMS/RAMS .....	27
5.4 Produtos de previsão do Modelo BRAMS/RAMS .....	29
<b>6. Formação .....</b>	<b>35</b>
6.1 Estrutura do Curso .....	36



---

6.2	Equipa .....	36
6.3	Programa da formação .....	37
<b>7.</b>	<b><i>Considerações Finais</i></b> .....	<b>39</b>
<b>8.</b>	<b><i>Referências</i></b> .....	<b>41</b>

# 1. Introdução

Os problemas ambientais, pelo impacto que têm na qualidade de vida e no desenvolvimento em geral, têm vindo a ganhar uma maior dimensão junto da opinião pública e facilmente se tornam em causas mobilizadoras da Sociedade Civil. Problemas relacionados com a água e saneamento, poluição do ar, aquecimento global, contaminação dos solos, gestão e tratamento dos resíduos urbanos ou hospitalares, gestão das florestas e políticas de ordenamento do território são assuntos na ordem do dia e fazem parte das agendas políticas dos partidos e governos.

As questões relacionadas com os problemas ambientais entendem-se melhor quando a sua abordagem é feita numa óptica interdisciplinar sistémica e se estudam os mecanismos de interacção que se estabelecem entre os vários ecossistemas terrestres que integram o Sistema Terra, nomeadamente ar, água, solos, vegetação, seres vivos.

O Clima regional é a síntese estatística do comportamento da atmosfera num determinado período de tempo relativamente a um dado local ou região e é fruto das múltiplas interconexões e interacções que se estabelecem dentro de um sistema dinâmico designado por Sistema Climático ou Sistema Terra. Deve ser visto como um recurso natural intrínseco ao ambiente terrestre. Como factor condicionante de toda a vida na Terra, tem estado intimamente ligado ao processo de desenvolvimento do homem, marcando a sua história e influenciando os diversos modos de vida e culturas. É património colectivo da humanidade que importa conhecer e preservar.

Evidências manifestas de mudança climática nas escalas global e regional sejam de origem antropogénica ou resultantes da variabilidade natural do sistema climático, têm levado a comunidade internacional a prestar uma decidida atenção a este problema, incrementando o esforço de investigação e de melhor conhecimento do sistema climático, desenvolvendo estratégias de adaptação ou mitigação das consequências esperadas de uma mudança global.

---

As razões anteriormente enunciadas levaram à concepção de um plano que visasse desafiar as Escolas Secundárias, no sentido de estabelecerem um Programa de Educação Ambiental, via Internet, em forma de Projecto, com o objectivo de desenvolver a sensibilidade e o compromisso social para questões ambientais na vertente do clima e da sua inter-relação com o ambiente.

O Projecto nasce, então, de uma parceria entre a Universidade de Évora e uma empresa ligada à meteorologia e ambiente, a AUDIMOBIL, Lda. com o financiamento da Ciência Viva, por meio do programa POCI 2010/FEDER.

## 2. Actividades Desenvolvidas

### **2.1 Enquadramento Geral da Iniciativa**

Após o lançamento do relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) sobre alterações climáticas (IPCC, 2007) e de outros trabalhos que focam as mudanças climáticas com elevado impacto mediático na sociedade, como por exemplo, o lançamento do livro *Uma Verdade Inconveniente* (Gore, 2006)<sup>1</sup>, tem-se assistido a uma crescente preocupação sobre quais serão as consequências que as actividades antropogénicas podem causar no sistema climático. Essas preocupações, fundamentadas pelos órgãos de comunicação social e sem suporte científico, antecipam a necessidade de nos confrontarmos com a divulgação de conteúdos específicos na área científica das ciências geofísicas.

Tendo estas preocupações em mente, é premente falar-se em educação ambiental, enquadrada nas Ciências da Terra e do Espaço, na qual se incluem as áreas do ambiente, meteorologia, climatologia, entre outras, como parte integrante da formação escolar. Esta integração tem como finalidade o desenvolvimento de capacidades específicas, ao nível do conhecimento e da experimentação, dotando os alunos das escolas secundárias de ferramentas que aumentariam a literacia científica, ampliariam a seus conhecimentos e com isso aumentam a sua capacidade de decisão.

Em Portugal, têm sido publicados trabalhos sobre o ambiente e a sustentabilidade (Schmidt et al., 2006), enquanto outros tem vindo, desde aos já alguns anos, apresentado trabalhos sobre mudança climática, com particular em futuros cenários, impactos e desenvolvimento de estratégias de adaptação (Santos et al., 2002). Contudo, estas publicações não são dirigidas para as escolas secundárias.

---

<sup>1</sup> Embora controverso e não sendo uma publicação de cariz científico devido a algumas imprecisões a autora considerou importante mencioná-lo devido ao seu grande impacto mediático que acabou por originar à atribuição do Prémio Nobel da Paz ao autor, e por ter o mérito, esse sim, de trazer as questões relacionados com o clima e ambiente como tópico do quotidiano,.

Em 2007, o Ministério da Educação, através da Resolução do Conselho de Ministros nº 137/2007, aprova o Plano Tecnológico da Educação (DR, 1ª Série – Nº 180 de 18 de Setembro de 2007) que tem como principal objectivo o de equipar os estabelecimentos de ensino com meios tecnológicos mais modernos que permitam a modernização dos procedimentos pedagógicos e práticas de ensino. Especificamente, dotar as escolas com acesso à Internet mais rápido, capacitar o edifício escolar e as salas de aula com acesso à Internet, fornecer computadores em número suficiente para todos os alunos (meta de um computador por cada dois alunos, em 2010) e, por fim, dotar as salas de aula com um quadro interactivo, um computador, de um vídeo projector e de uma impressora (*kit sala de aula*).

A par com as mudanças tecnológicas, o Ministério da Educação empreende a Reforma do Ensino Secundário ((DR, 1ª Série – Nº 39 de 25 de Fevereiro de 2008 e Portaria n.º 260/2006, de 14 de Março) que visa conferir maior dimensão à prática experimental na área científica da Física e da Química recorrendo ao reforço da carga horária e ao desenvolvimento de um sistema de formação de professores em ensino experimental, bem como a aposta na divulgação de materiais de apoio ao ensino das ciências.

Nesta actual conjuntura, foram homologados novos programas para as disciplinas de Ciências Físico-químicas, Programa de Física e Química A – 11º anos (Porto Editora, homologado Março 2003), Programa de Físico-Químicas, Programa de Física e Química – 8º anos (Porto Editora, homologado, 2005) que procuram a introdução de novos conceitos, ligados à área do ambiente e das ciências atmosféricas.

Contextualmente, é propício a implementação de projectos, como o Projecto PROCLIRA, dirigidos aos alunos, recorrendo às novas tecnologias, sustentada na experimentação e com formação de professores.

Assim, a função da escola é a de criar condições para que estas competências específicas possam ser assimiladas e tornar-se num veículo de disseminação de conceitos que procura criar indivíduos com maiores conhecimentos ambientais fazendo uma plena integração na participação de cidadãos nas áreas ambientais.

## 2.2 As Tecnologias na Educação

O uso do computador está comumente divulgado na sala de aula propiciando uma verdadeira revolução na aprendizagem, permitindo a utilização de recursos que até à data não se equacionavam a ser usados. Actualmente, na disciplina de Tecnologia e Informação e Comunicação (TIC) os alunos usam as novas tecnologias como forma de adquirirem novas competências tecnológicas e de as utilizarem interdisciplinarmente. Cachapuz e al. (2002) mencionam que as TIC, fruto da sua capacidade didáctica intrínseca, adquirem um importante papel na exploração, interactividade, movimento e exploração tridimensional, entre outros aspectos.

Acompanhado a evolução tecnológica operada nas salas de aula, alguns dos novos manuais escolares, para além da tradicional apresentação em papel, vêm acompanhadas de manuais virtuais que permitem que as aulas sejam leccionadas nos quadros electrónicos (já disponíveis em algumas salas de aula de algumas escolas portuguesas) e, o mistério da educação divulga, *online*, um espaço de apoio, divulgação e de recursos (<http://moodle.crie.min-edu.pt>)

## 2.3 Estrutura do Projecto

O projecto está estruturado em três áreas temáticas, sendo duas em suporte Internet e a terceira sob a forma de um ciclo de conferências sobre questões ambientais e seus impactes no desenvolvimento, com o intuito de promover o debate e a interacção entre a comunidade científica, população e poder local da região abrangida pelo estudo.

Estruturalmente o projecto tem as seguintes áreas:

**1. Ciberambiente** com informação geral ligada a conteúdos temáticos ambientais, com dois níveis de aprofundamento. O primeiro, dirigido a alunos do ensino secundário e o segundo com informação especializada, dirigido a professores e outros grupos profissionais como quadros técnicos de autarquias, jornalistas, agricultores, técnicos (da protecção civil, seguros, construção civil, bombeiros, etc.) que lidam profissionalmente

com a informação de tempo e clima. Nesta área estão desenvolvidas as seguintes rubricas:

#### Conteúdos ambientais

Disponibilização via Internet de conteúdos temáticos que serão supervisionados por Investigadores e Especialistas desta área e que abordarão temas relacionados com as ciências da Terra e do Espaço.

#### Fórum ambiental

É um espaço de discussão sobre questões ambientais onde os alunos, professores e público em geral colocarão, via Internet, questões que serão respondidas por Especialistas e Investigadores da área. Este fórum também serve de esclarecimento a dúvidas na prossecução dos projectos da área escola.

**2. Ciberexperiência** com duas Rubricas, uma, que **consiste numa rede escolar** de observação de parâmetros meteorológicos e ambientais. A outra destina-se, a desenvolver, com base num modelo meteorológico de alta resolução, o *Regional Atmospheric Modelling System (RAMS)*, um sistema de previsão de tempo para a região em causa.

**3. Ciclo de conferências** destinado a promover um espaço de divulgação científica e de debates de temas relevantes na área do clima e mostrar os seus impactes no ambiente, no desenvolvimento sustentado e na qualidade de vida. Haverá uma lista de investigadores nacionais e estrangeiros, com trabalhos importantes nos múltiplos aspectos das ciências ambientais, cobrindo temas tão variados como alterações climáticas, energias alternativas, gestão adequada dos recursos naturais e hídricos, agricultura e clima, saúde e clima etc.

## **2.4 Plano de Trabalho**

A estrutura do plano de trabalho tem como suporte o enquadramento referido nos pontos anteriores que procura, de forma sucinta e objectiva, motivar os estudos das ciências atmosféricas e aumentar a literacia científica entre os alunos do Ensino Secundário, criando uma rede de Estações Meteorológicas Automáticas (EMAS), instaladas nas escolas. Os dados reproduzidos pelas EMAS serão armazenados numa base de dados, disponível via Web, com acesso para as escolas e alunos. A estrutura do plano de trabalhos assenta no vector primordial que se serve da internet como veículo de comunicação e disseminação de informação para a escola, alunos e para a sociedade civil.

Pretende-se assim, desenvolver:

1. A criação de condições para implementar operacionalmente todas as componentes incluídas no projecto,
2. O desenvolvimento de uma base de dados em articulação com as escolas parceiras,
3. A operacionalização do modelo BRAMS/RAMS para gerar produtos de previsão regional,
4. O desenvolvimento de uma página Web onde os produtos gerados pelo modelo de previsão numérica possam ser introduzidos operacionalmente,
5. O desenvolvimento de outro tipo de aplicações com os produtos gerados pelo modelo de previsão numérica, para além dos referidos no ponto anterior, com interesse para as escolas e alunos que possam criar mais competências específicas, na área temática do projecto, a serem, também, disponibilizadas na internet,
6. Capacitar a página Web com novas funcionalidades,
7. Apoiar as Escolas no desenvolvimento de dois Projectos temáticos ligados à área



### Cronograma das Actividades Desenvolvidas

		Setembro		Julho		Agosto		Outubro		Novembro		Dezembro		Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Actividades	Semana	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Site																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

### 3. Estações Meteorológicas Automáticas

As Estações Meteorológicas Automáticas (EMAS) foram instaladas nas escolas secundárias (ES) que formalmente quiseram participar na iniciativa. na Figura 3.1 apresenta-se a localização geográfica das escolas parceiras no projecto.



Figura 3.1 Localização Geográfica das ES com EMAS.

Foram estabelecidos contactos com várias escolas secundárias do país, inseridas em zonas de interesse previamente definidas ou então na manifestação de interesse na participação do Projecto. Os critérios de selecção das Escolas foram:

2. Pertencerem a um dos concelhos integrados nas bacias hidrográficas do Tejo e Sado (Área Metropolitana de Lisboa), do Guadiana e zona envolvente da Albufeira do Alqueva, Municípios do Distrito de Viseu, Municípios do Norte Alentejano e da Região do Oeste);
2. A manifestação do interesse em participar.

A manifestação de interesse foi efectuada através da assinatura de um Termo de Compromisso, assinado pelo Presidente do Conselho Directivo, no qual é identificado o

professor que será Coordenador do projecto na Escola. Ao todo são dez as escolas que actualmente dispõem de uma EMA. Para além da EMA as escolas também foram equipadas de computador que está ligado à estação. Na Tabela 1 apresenta-se a lista de escolas parceiras.

Tabela 3.1 Lista das escolas parceiras equipadas com EMAS. O encarnado identifica-se a escola de São Pedro do Sul, a única na região Norte do País, e a verde a escola de Moura e de Elvas, pertencentes à região do Alentejo.

<b>Escola</b>	<b>Localização</b>	<b>Escola</b>	<b>Localização</b>
ES Alfredo dos Reis Silveira	Seixal	ES Jorge Peixinho	Montijo
ES D Sancho II	Elvas	ES Pluricurricular de Alcochete	Alcochete
ES D Manuel Martins	Setúbal	ES Prof. Reynaldo dos Santos	Vila Franca de Xira
ES Moita	Moita	ES com 3º Ciclo de Moura	Moura
ES S. João da Talha	S. João da Talha	ES de São Pedro do Sul	São Pedro do Sul

### **3.1 Dados das estações**

Nesta fase do projecto, está incluído o acesso aos dados das escolas, o seu armazenamento e divisão em, dados horários, dados mensais e totais diários, e a distribuição dos dados na página Web bem como alimentação da base de dados. A divisão dos dados, nas suas respectivas pastas, é realizada para se poderem distribuir *online* e alimentarem a base de dados.

### **3.2 Acesso aos dados das EMAS**

As EMAS, instaladas nas escolas, estão ligadas a um PC. É a este, PC, que se acede para ir, via FTP, buscar os dados. É elaborado um programa, para cada, escola que executa o FTP automaticamente. O agendamento é implementado com um intervalo de tempo de 10 minutos, coincidente com o intervalo de registo dos dados.

A recolha de dados atmosféricos é uma actividade tradicional na meteorologia. Contudo, estabelecer relações entre os dados e as condições do estado do tempo e/ou clima pode ser um desafio. Uma forma de se poder inferir algumas ligações é dar entrada dos dados numa base de dados. Este procedimento estabelece uma rápida comparação entre campos de variáveis atmosféricas permitindo que os estudantes possam reconhecer leituras de dados associadas a determinado estado de tempo (Snyder, 2005).

Assim, os dados para além do seu arquivo são inseridos numa base de dados para posterior análise.



## 4. Base de Dados

### 4.1 Introdução

Uma Base de dados é um conjunto de registos dispostos numa estrutura regular que possibilita a organização e/ou a produção de informação, que é mantida e acedida através de um conjunto de programas responsáveis pela sua gestão. Estes programas denominados de *Sistema Gerenciador de Base de Dados* (SGDB) funcionam como uma interface de comunicação entre o utilizador e a base de dados.

As bases de dados podem ser estruturadas de acordo com diferentes modelos: o modelo hierárquico, o modelo de redes, o modelo de listas internas e o modelo relacional. A estrutura adoptada, como modelo estrutural, para a base de dados foi o modelo de base de dados relacional que pressupõe uma estrutura tabular (linhas e colunas) de armazenamento dos dados onde estes são representados como relações matemáticas (Codd, 1970; Codd, 1990). Neste modelo de dados relacionais a interface de comunicação é realizada através da execução de comandos na linguagem *Strutured Query Language* (SQL), utilizando uma linguagem de SQL de código livre, o MySQL.

O MySQL é um *software* de distribuição livre suporta algumas linguagens de programação como a linguagem Python e o Perl.

A linguagem MySQL é um método preferencial para a elaboração de Base de Dados, reconhecida pela sua facilidade de utilização, performance e fiabilidade (Radinschi, 2008). É um programa construído para a criação e administração de base de dados que fornece segurança e é amplamente usada em aplicações Web para questionários *online* sobre física (Radinschi, 2008).

## 4.2 A Base de Dados do Projecto

A Base de Dados foi elaborada em MYSQL com uma estrutura de três tabelas com um número variável de campos. As tabelas reúnem informação de metadata das estações, sobre os sensores que a referida EMA vem equipada e a tabela com os dados amostrados na estação. O acesso à base de dados pode ser conseguido com recurso à linha de comandos ou então através de um *software* de visualização o *phpMyAdmin* de *distribuição livre* (<http://www.phpmyadmin.net>). Este *software* permite executar todos os comandos de administração, gestão e manuseamento com recurso à visualização substituindo a linha de comandos, menos intuitiva para o utilizador. Na Figura 4.1 ilustram-se a página de entrada e página inicial do *phpMyAdmin*. Na página Web do *software* encontram-se explicações detalhadas sobre o seu uso e funcionamento.

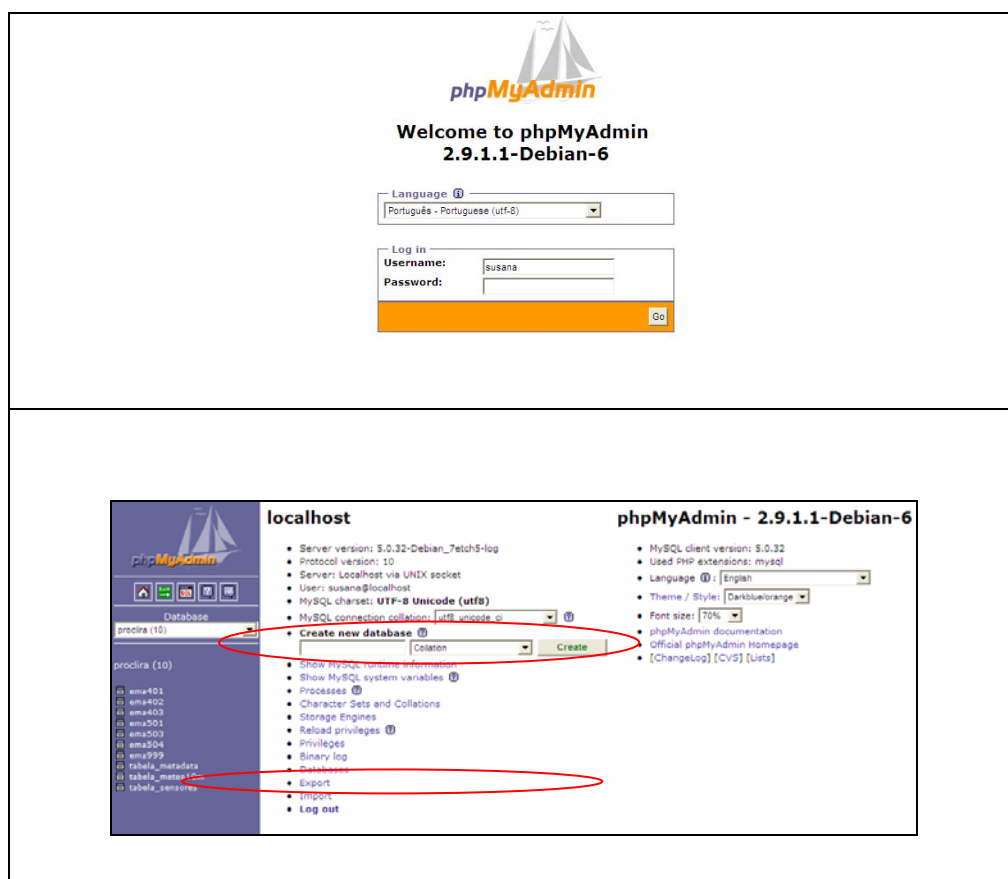


Figura 4.1. Página inicial do *software* de comunicação com a base de dados e página inicial após o *login*. Na figura do painel inferior é possível visualizar as opções relacionadas com a administração da base de dados, como por exemplo, a criação ou exportação de uma nova base de dados.

Na Figura 4.2 apresentam-se algumas ilustrações da estrutura da base de dados (painel inferior) e das tabelas que compõem a base de dados do Projecto PROCLIRA (painel superior).

The figure consists of two screenshots of the phpMyAdmin interface. The top screenshot shows the database structure for 'proclira' on 'localhost'. The bottom screenshot shows the detailed structure of the 'ema401' table.

**Top Screenshot: Database Structure**

Server: localhost Database: proclira

Table	Action	Records	Type	Collation	Size	Overhead
ema401		2,412	MyISAM	latin1_bin	238.9 KiB	-
ema402		50	MyISAM	latin1_bin	6.1 KiB	-
ema403		576	MyISAM	latin1_bin	59.0 KiB	-
ema501		300	MyISAM	latin1_bin	31.6 KiB	-
ema503		1,685	MyISAM	latin1_bin	184.2 KiB	-
ema504		5,312	MyISAM	latin1_bin	568.9 KiB	-
ema999		6	MyISAM	latin1_bin	2.5 KiB	-
tabela_metadata		10	MyISAM	latin1_bin	3.3 KiB	-
tabela_meteo10m		9,847	MyISAM	latin1_bin	967.9 KiB	-
tabela_sensores		4	MyISAM	latin1_bin	2.2 KiB	-
<b>10 table(s)</b>	<b>Sum</b>	<b>20,202</b>	<b>MyISAM</b>	<b>latin1_bin</b>	<b>2.0 MiB</b>	<b>0 B</b>

**Bottom Screenshot: Table Structure (ema401)**

Server: localhost Database: proclira Table: ema401

Field	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Extra	Action
datahora	datetime			No			
idestacao	varchar(10)	latin1_bin		No			
record	double			Yes	-999		
pressaoatmmed	double			Yes	-999		
vventomed	double			Yes	-999		
dventomed	double			Yes	-999		
tempatmmed	double			Yes	-999		
htratmmed	double			Yes	-999		
radsolarmed	double			Yes	-999		
preciptotal	double			Yes	-999		
datainc	timestamp		ON UPDATE CURRENT_TIMESTAMP	No	CURRENT_TIMESTAMP		

Figura 4.2. No painel superior apresenta-se as tabelas que compõem a base de dados do Projecto PROCLIRA e no painel inferior a estrutura da base de dados.



Analisando a Figura 4.2 (painel superior) observa-se que a base de dados do Projecto ProCLIRA tem várias tabelas. A tabela de nome “tabela\_metadata” contém informações sobre a localização regional da EMA, latitude, longitude, altitude, entre outros campos. A tabela de nome “tabela\_sensores” fornece ao utilizador informações sobre as características técnicas dos sensores instalados numa determinada EMA. As restantes tabelas denominadas de *ema[código da estação]* e a “tabela\_meteo10m” contém os dados de 10 minutos das EMAS. Como a Base de Dados ainda se encontra em período de avaliação a inserção realiza-se de duas maneiras distintas: cada escola têm a sua tabela na base de dados (*ema[código da estação]*) ou todos os dados das escolas são inseridos numa única tabela comum (tabela\_meteo10m).

O mecanismo operacional foi implementado temporalmente fazendo coincidir a leitura da informação a ser introduzida com a frequência de amostragem da estação.

## 5. Modelação Regional

### 5.1 O Modelo Numérico BRAMS/RAMS

A previsão regional para a área em causa foi levada a cabo utilizando o sistema *Brazilian Regional Atmospheric Modelling System* (BRAMS). O modelo BRAMS é o resultado de um projecto conjunto da Atmospheric Meteorological and Environmental Technologies (ATMET), do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo (IME/USP), do Instituto de Astronomia da Universidade de São Paulo (IAG/USP), do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (CPTEC/INPE) e do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal da Paraíba (DCA/UFPB) com o objectivo de produzir uma versão do modelo de mesoescala *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS – desenvolvido pela Colorado State University) adaptado aos trópicos.

O modelo BRAMS/RAMS é um modelo de mesoescala de previsão de tempo não hidrostático, com a funcionalidade de malhas imbricadas, concebido para simular circulações atmosféricas em várias escalas espaço-temporais. O BRAMS/RAMS pode ser iniciado com observações, de superfície e de altitude, incluindo informações radar e satélite, e/ou dados fornecidos por outros modelos de escala mais larga. Muito importante é a capacidade de múltiplas malhas se aninharem múltiplo ("*multiple-nesting*") i.e. a capacidade de operar com dados iniciais e de fronteira fornecidos por simulações do próprio modelo, para escalas mais finas.

Com as previsões do BRAMS/RAMS podem construir-se meteogramas, contendo a evolução temporal, de hora a hora, de diferentes elementos meteorológicos, dos quais se podem inferir, temperaturas extremas, valores extremos de precipitação, etc. O BRAMS/RAMS é assim um instrumento de valor na previsão do tempo a uma escala regional.

## 5.2 Descrição do Modelo BRAMS/RAMS

A versão do BRAMS/RAMS utilizada durante o projecto foi a versão 4.0 que se baseia na versão 5.04 do modelo original RAMS acrescido das seguintes funcionalidades:

- Novo esquema de convecção profunda; parametrizações das nuvens *cumulus* rasos baseado em fluxos de massa com novo fechamento (Grell et al., 2002);
- Novos ficheiros de dados de vegetação com resolução de 1 km derivados do conjunto de dados do IGBP 2.0 mais IGBE/INPE LEAF-3 com parâmetros observados para a biomassa da América do Sul;
- Reprodução binária (mesmos resultados independentes do processador);
- Maior portabilidade e qualidade no software (novos procedimentos para leitura do RAMSIN, correcções necessárias para adaptação a outros processadores e novo esquema para criar o executável);
- Esquema de assimilação heterogénea do tipo de solo;
- Ciclo de assimilação operacional e procedimento de previsão;
- Parametrização do solo SIB2;
- Possibilidade de correr em paralelo e em série;
- Inclusão do esquema de TEB (Town Energy Budget) e SPM (Simplified Photochemical Model)
- Inclusão do esquema CATT (Coupled Aerosol and Tracer Transport);
- Correcções no *Shaved ETA* (baseada no RAMS 6.x);
- Correcções no esquema LEAF (baseada no RAMS 6.x).

### O Modelo RAMS

O modelo RAMS foi desenvolvido na Universidade do Colorado com o objectivo de criar um sistema uniforme de simulação numérica fundindo, para tal, vários esquemas numéricos de simulação do estado do tempo que estavam a ser usados por diferentes autores (Pielke, 1974; Tripoli and Cotton, 1982; Tremback et al., 1985).

Baseado no procedimento de malha *two-way grid* descrito por Clark and Farley (1984) o

RAMS tem a capacidade de representar áreas de larga escala, como por exemplo, o Hemisfério Norte indo progressivamente para escalas menores.

O modelo RAMS, no seu todo, bem como as suas opções encontra-se descrito em detalhe em Pielke et al. (1992), Walko and Tremback (1991) e Cotton et al. (2003), se bem que algumas categorias, como por exemplo, as equações base do modelo, já tenham sido descritas anteriormente, como parte de um modelo em separado (Pielke, 1974; Tripoli and Cotton, 1982; Tremback et al., 1985). Assim, será apresentada uma breve descrição das principais características do RAMS.

### Equações Base do Modelo

As equações básicas do modelo RAMS são aquelas descritas por Tripoli e Cotton (1980), derivadas do conjunto das equações de conservação primitivas após serem integradas na escala espaço-temporal do volume da malha onde as variáveis dependentes são decompostas de acordo com a decomposição de Reynolds ( $\phi = \bar{\phi} + \phi'$ , onde  $\phi$  representa qualquer das variáveis dependentes,  $\bar{\phi}$  representa a média no espaço tempo e  $\phi'$  o desvio de  $\phi$  em relação à média) e os termos que representam o gradiente de pressão foram substituídos por  $\frac{1}{\rho} \nabla p = \theta \nabla \Pi$  onde  $\Pi$  se refere à função de Exner definida como

$$\Pi = C_p \left( \frac{p}{p_0} \right)^{R_d / C_p} = C_p \frac{T_v}{\theta}. \text{ Onde, } \rho \text{ representa a densidade do ar, } C_p \text{ a capacidade}$$

calorífica,  $p$  a pressão,  $p_0$  a pressão ao nível médio da água do mar,  $R_d$  a constante específica para o ar seco,  $T_v$  a temperatura virtual e  $\theta$  a temperatura potencial (Pielke, 1984).

---


$$\bar{\phi} = \frac{1}{(\Delta t)(\Delta x)(\Delta y)(\Delta z)} \int_t^{t+\Delta t} \int_x^{x+\Delta x} \int_y^{y+\Delta y} \int_z^{z+\Delta z} \phi dz dy dx dt$$

Equação do movimento

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} - \theta \frac{\partial \Pi'}{\partial x} + fv + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_m \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_m \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_m \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - w \frac{\partial v}{\partial z} - \theta \frac{\partial \Pi'}{\partial y} - fu + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_m \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_m \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_m \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -u \frac{\partial w}{\partial x} - v \frac{\partial w}{\partial y} - w \frac{\partial w}{\partial z} - \theta \frac{\partial \Pi'}{\partial z} - \frac{g\theta_v}{\theta_0} + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_m \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_m \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_m \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

Equação da Energia

$$\frac{\partial \theta_{il}}{\partial t} = -u \frac{\partial \theta_{il}}{\partial x} - v \frac{\partial \theta_{il}}{\partial y} - w \frac{\partial \theta_{il}}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_h \frac{\partial \theta_{il}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_h \frac{\partial \theta_{il}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_h \frac{\partial \theta_{il}}{\partial z} \right) + \left( \frac{\partial \theta_{il}}{\partial t} \right)_{rad}$$

Equação da Continuidade

$$\frac{\partial \Pi'}{\partial t} = -\frac{R\Pi_0}{c_v \rho_0 \theta_0} \left( \frac{\partial \rho_0 \theta_0 u}{\partial x} + \frac{\partial \rho_0 \theta_0 v}{\partial y} + \frac{\partial \rho_0 \theta_0 w}{\partial z} \right)$$

Equação da Continuidade para a Razão de Mistura da Água

$$\frac{\partial r_n}{\partial t} = -u \frac{\partial r_n}{\partial x} - v \frac{\partial r_n}{\partial y} - w \frac{\partial r_n}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_h \frac{\partial r_n}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_h \frac{\partial r_n}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_h \frac{\partial r_n}{\partial z} \right), \quad n = 1, 2, 3,$$

Onde  $r_1$ ,  $r_2$ , e  $r_3$  estão definidos como sendo a razão de mistura da água no estado sólido, líquido e vapor, respectivamente, em relação à massa de ar no volume da malha.

Nas equações acima descritas todas as variáveis dependentes representam quantidades médias e  $u$ ,  $v$  e  $w$  representam a componente do vento zonal, meridional e vertical, respectivamente,  $f$  o parâmetro de Coriolis,  $K_m$  o coeficiente de viscosidade cinético,  $K_h$  o coeficiente de viscosidade para o calor e razão de mistura,  $\theta$  e  $\theta_{il}$  representam a temperatura potencial e a temperatura potencial para a interface gelo líquido, respectivamente. Por último, o índice zero denota quantidades ao nível médio da água do

mar e o índice *rad* refere-se à tendência da parametrização da radiação.

### Estrutura da grade

O RAMS é um modelo com representação tridimensional em que a representação da coordenada vertical pode ser do tipo *shaved-eta*, onde as células da malha cartesiana interceptam a topografia (Tremback e Walko, 2004) ou do tipo sigma-z ( $\sigma_z$ ) que acompanha o terreno e o espaçamento entre os níveis verticais da malha é variável permitindo uma maior resolução junto do solo e uma menor em níveis mais elevados, esquematicamente representado na Figura 5.1.

A coordenada vertical  $\sigma_z$  é definida como,

$$\sigma_z = H \left[ \frac{(z - z_g)}{(H - z_g)} \right],$$

Onde,  $\sigma_z$  é a coordenada transformada,  $z_g$  é a altura da superfície em relação ao nível médio da água do mar e  $H$  a altura do topo do modelo (Gal-Chen and Somerville, 1975; Clark, 1977; Tripoli and Cotton, 1982).

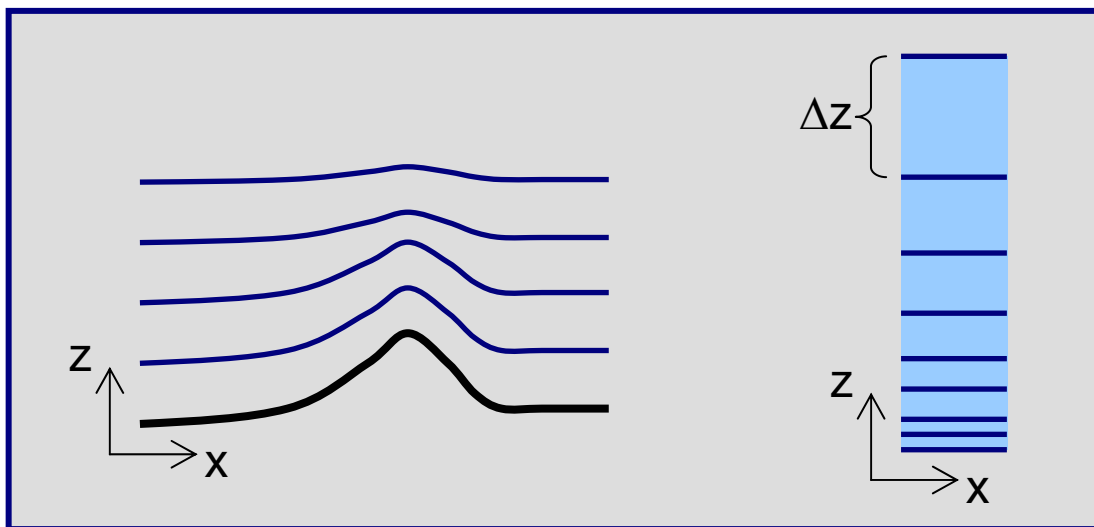


Figura 5.1. À esquerda, representação esquemática da coordenada vertical tipo sigma-z ( $\sigma_z$ ) e à direita representação da variação do espaçamento da malha na vertical.

O RAMS usa uma projecção horizontal estereográfica polar rodada, onde o pólo da projecção coincide com o centro do domínio, de forma a evitar distorções (Cotton et al., 2001) com uma estrutura de malha escalada do tipo Arakawa-C (Messinger and Arakawa, 1976), em esquema na Figura 5.2, onde as variáveis termodinâmicas e as variáveis de mistura são definidas no mesmo ponto da grade e as componentes da velocidade do vento,  $u$ ,  $v$  e  $w$  são escaladas para  $\frac{1}{2} \Delta x$ ,  $\frac{1}{2} \Delta y$  e  $\frac{1}{2} \Delta z$ , respectivamente.

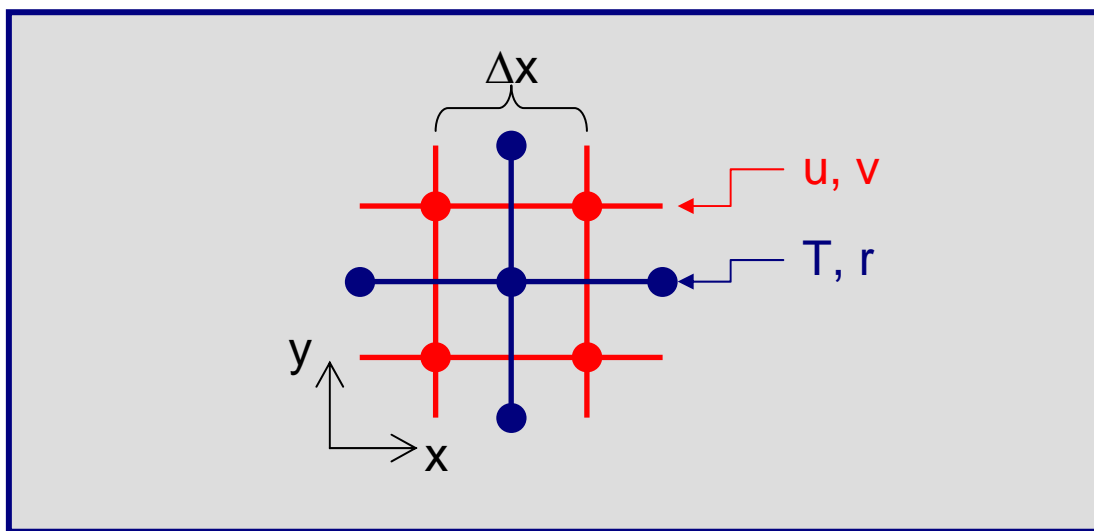


Figura 5.2 Grade tipo C de Arakawa a azul estão representados os pontos onde são avaliadas as variáveis termodinâmicas e a encarnado estão representadas as componentes horizontais do vento ( $u$ ), zonal e meridional ( $v$ ), respectivamente.

### Esquema de Diferenciação Temporal

O RAMS tem várias opções para os diferentes esquemas de diferenciação controlados pelo utilizador. Podem ser escolhidos um esquema de diferenças de primeira ordem avançadas e *atrasadas*, um esquema *leapfrog* (Tripoli e Cotton, 1982), um esquema híbrido (Tripoli, 1992) que consiste em aplicar um esquema de diferenças avançadas para as variáveis termodinâmicas e um esquema de diferenciação do tipo *leapfrog* para as componentes da velocidade e da pressão. Todas as opções anteriores são formuladas recorrendo a um esquema de *time-split* que consiste em separar numa série de intervalos

de tempo mais pequenos os termos responsáveis da propagação de ondas acústicas e da gravidade (Tripoli e Cotton, 1982; Tremback et al., 1985).

### Malhas Imbricadas

As malhas imbricadas são usadas no RAMS como método de obtenção de uma elevada resolução espacial nas regiões seleccionadas enquanto se abrange um domínio maior com resolução mais baixa. Podem ser usadas várias malhas aninhadas, dentro dos limites dos recursos computacionais disponíveis, em que a malha aninhada abrange uma região que pertence ao domínio da sua malha mãe, coincidindo nos pontos comuns.

O esquema de malhas imbricadas usado no RAMS é aquele descrito por Clark e Farley (1984) e Clark e Hall (1991), e para o aninhar vertical foi usado o método proposto por Walko et al. (1993). Sucintamente, a comunicação entre as todas as variáveis prognóstico das malhas aninhadas e da malha mãe é conseguida num esquema denominado de *two-way communication*, que consiste na actualização dos campos de prognóstico imediatamente após o passo temporal na malha mãe. Os valores actualizados são então interpolados sequencialmente nas direcções coordenadas para as localizações onde estão definidas os limites da malha aninhada. Os valores na malha aninhada são substituídos pelos interpolados

### Condições Fronteira

As condições fronteiras são aplicadas com o intuito de eliminar ou reduzir fenómenos espúrios, alguns deles de origem numérica, que são propagados durante a simulação e que influenciam a solução final.

A forma geral de uma malha escalada do tipo C, como a usada no modelo RAMS, para explicar a propagação de onda é a condição radiativa (Sommerfeld, 1949):

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -(u + c) \frac{\partial u}{\partial x},$$



Onde,  $u$  é a componente do vento normal à lateral e  $c$  a velocidade de fase. O problema proposto é o de especificar qual a forma do valor da velocidade de fase,  $c$ .

O modelo RAMS contém várias opções para especificar as condições fronteiras laterais. Estão disponíveis quatro esquemas diferentes: o esquema de Orlanski (1976) que calcula a velocidade de fase como sendo  $c = \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right) / \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)$ , o esquema modificado de Klemp e Lilly (1978) descrito por Durran (1981) que calcula a média das velocidades de fase (calculadas de acordo com Orlanski, 1976) na vertical e aplica esse valor média à coluna, o esquema de Klemp e Wilhelmson (1978 ab) que atribui à velocidade de fase o valor típica da velocidade de fase de uma onda de gravidade (10-30 m/s) e o esquema de Davies (1976) que é usado quando o modelo é inicializado com dados observados.

O esquema radiativo de condição fronteira é aplicado somente às componentes normais da velocidade do vento. Às outras variáveis podem ser aplicadas outras condições: a opção de gradiente nulo, a opção de fluxo constante e a condição radiativa de fluxo de saída.

No fronteiro inferior, à superfície, a condição de fronteira está relacionada com a troca de calor, *momentum* e massa entre a atmosfera e a camada da superfície adjacente a esta. As trocas são consideradas para os diferentes tipos de superfície, que podem ser, água, solo sem cobertura vegetal ou solo com vegetação (Walko et al., 2000). Na fronteira superior, o modelo RAMS, usa um esquema que pode ser comparado ao do Davies (1976).

### Inicialização do Modelo

Os principais dados de entrada do modelo RAMS, para os quais, é possível realizar uma simulação são: temperatura do ar, humidade do ar, geopotencial, componente zonal do vento e componente meridional do vento.

O modelo RAMS pode ser inicializado horizontalmente homogeneamente quando só se tem um único dado de entrada para cada nível vertical. Um exemplo deste tipo de inicialização é a utilização de dados de sondagem atmosférica, representativa da área

onde se pretende realizar o estudo.

A inicialização pode ser heterogénea, quando os dados de entrada são interpolados para a malha do modelo apresentando variação horizontal e vertical. A técnica utilizada para a interpolação é a análise objectiva descrita por Barnes (1973) e consiste na obtenção de um valor interpolado para cada ponto da malha, através de uma média ponderada da informação original, onde é atribuído um peso proporcional ao inverso da distância entre o ponto da malha e a localização do ponto de entrada.

O modelo RAMS também pode ser inicializado a partir de uma análise híbrida, denominada de pacote RAMS/ISAN, usando os dados do modelo de uma malha de maior resolução combinados com dados de observação (Tremback, 1990).

### **Parametrizações do Modelo RAMS**

Os esquemas de radiação disponíveis pelo RAMS podem ser classificados de acordo com a sua interacção com as nuvens. Assim, no esquema de Mahrer e Pielke (1977) não são considerados processos de interacção com as nuvens mas são avaliados empiricamente a difusão de radiação solar pelo ozono, dióxido de carbono e oxigénio, a absorção de radiação solar pelo vapor de água, e a emissão e absorção de radiação infravermelha pelo dióxido de carbono e vapor de água. Nos esquemas de Chen e Cotton (1983) as formulações da radiação solar e da radiação infravermelha são semelhantes mas são considerados os processos das nuvens considerando que toda a condensação ocorre no estado líquido. Por último, Harrington (1997) propõe um esquema mais elaborado com um modelo de radiação solar e de radiação infravermelha e um esquema de interacção com hidrometeoros no estado líquido e sólido.

O modelo RAMS fecha as parametrizações da turbulência propondo três esquemas diferentes para calcular o coeficiente de viscosidade turbulenta,  $K$ : o esquema de deformação do  $K$  de Smagorinsky (1963) dependente do número de Richardson com modificações de Lilly (1962) e Hill (1974) (Tripoli, 1986; Cotton et al., 2001), o esquema de Deardorff (1980) em que a viscosidade turbulenta é função prognóstico da energia

cinética turbulenta (TKE) e o esquema de Mellor e Yamada (1982).

A parametrização da convecção é utilizada para distribuir verticalmente o calor e a humidade através da coluna de ar atmosférica quando o modelo cria uma região convectiva e instável, à escala da sub malha.

A convecção no modelo RAMS é parametrizada com o esquema de Kuo (1974) modificado (Tremback, 1990) em que a convecção actua no sentido de eliminar a instabilidade gerada por efeitos de larga escala e da evaporação local. No entanto, o modelo RAMS/BRAMS tem disponível um esquema de parametrização (Grell et al., 2002) com quatro diferentes opções de fechar as equações de acordo com os esquemas propostos por Grell (1993), Arakava e Shubert (1974), Kain e Fritsch (1992) e Grell e Dévény (2002).

A parametrização da microfísica no modelo RAMS original é aquela descrita por Meyers et al. (1997), no entanto, um novo esquema descrito em Tremback e Walko (1997) e em maior detalhe em Martins (2006) foi implementado. O novo esquema é uma generalização do primeiro, onde a água nas suas variadas formas (água contida nas nuvens, chuva, gelo puro, neve, precipitação que ocorre quando gotas de água super arrefecidas condensam num floco de neve, granizo e agregados<sup>3</sup>) é tratada como uma função de distribuição Gamma mas acrescenta outras categorias como a água na forma de granizo e permite que os hidrometeoros de granizo e pequenas partículas de gelo possam conter água no estado líquido. A inclusão ou não das diferentes formas da água numa simulação é escolha do utilizador e, assim, o seu grau de complexidade que varia desde o nível zero (o modelo “corre seco” eliminando qualquer processo que influencia ou é influenciado por variáveis de mistura) até ao nível 3 que inclui todas as categorias de água mencionadas e o processo de precipitação.

---

<sup>3</sup> Agregados são definidos como partículas de gelo que se formam por colisão ou coalescência do gelo puro e neve.

### 5.3 Aplicação do Modelo BRAMS/RAMS

As simulações foram realizadas para três domínios diferentes: Atlântico Norte, Portugal Continental e Lisboa e Vale do Tejo, representados na Figura 5.3, com o objectivo de disponibilizar *online* previsões numéricas até 48 horas, acessíveis às escolas e que estas pudessem utilizar nos seus projectos com os alunos.

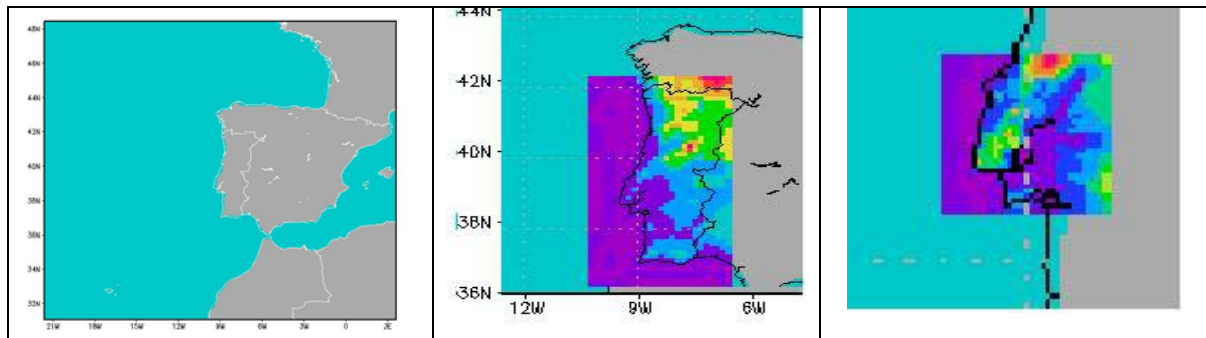


Figura 5.3. Domínios usados nas simulações. Da esquerda para a direita, Atlântico Norte, Portugal Continental e Lisboa e Vale do Tejo.

Nas simulações de previsão numérica o modelo BRAMS/RAMS necessita de dados das condições iniciais do estado da atmosfera e as tendências nas fronteiras laterais. São usados, para inicializar diariamente o modelo, os dados gerados pelo modelo global do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (CPTEC/INPE). Estes ficheiros abrangem a região da Europa e África e contêm o estado da atmosfera, numa malha Gaussiana, e são disponibilizados em formato GRIB (GRIdded Binary). O modelo BRAMS/RAMS usa os ficheiros de topografia (resolução de 1 km), de vegetação, de temperatura da água do mar (actualização semanal com resolução de 1º), do uso do solo e tipo de solo fornecidos, também disponibilizados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (CPTEC/INPE).

O modelo inicia a simulação de 48 horas com as parametrizações listadas na Tabela 1. À malha 1, 2 e 3 corresponde, respectivamente, o domínio de simulação do Atlântico Norte (resolução de 50 km), de Portugal Continental (resolução de 12.5 km) e Lisboa e Vale do Tejo (resolução de 3.125 km).

Tabela 5.1 Lista de opções seleccionadas nas actuais simulações do BRAMS/RAMS.

Parâmetro	Descrição	Valor
<b>TIMMAX</b>	Tempo de simulação	48 Horas
<b>NGRIDS</b>	Número de malhas	3
<b>NNXP</b>	Número de pontos em x (malha 1, malha 2, malha 3)	44,26,42
<b>NNYP</b>	Número de pontos em y (malha 1, malha 2, malha 3)	40,54,42
<b>NNZP</b>	Número de pontos em z (malha 1, malha 2, malha 3)	32,32,32
<b>DELTAX</b>	Espaçamento de malha em x (km)	50,12.5,3.125
<b>DELTAY</b>	Espaçamento de malha em y (km)	50,12.5,3.125
<b>DELTAZ</b>	Espaçamento de malha em z (m)	120
<b>DTLONG</b>	Passo de tempo (s)	120
<b>POLELAT e POLELON</b>	Coordenadas do ponto central da malha (°)	40.0 e -9.0
<b>NUDLAT</b>	Número de pontos na fronteira lateral	5
<b>TNUDLAT</b>	Tempo de <i>nudging</i> na fronteira lateral (s)	1800
<b>TNUDTOP</b>	Tempo de <i>nudging</i> na fronteira superior (s)	10800
<b>ZNUDTOP</b>	Altura a partir da qual se exerce o <i>nudging</i> na fronteira superior (m)	16000
<b>IBND=JBND</b>	Esquema nas fronteiras laterais	Klemp e Wilhelmson
<b>CPHAS</b>	Velocidade de fase para o esquema Klem e Wilhelmson (m/s)	20
<b>LSFLG</b>	Esquema nas fronteiras para as variáveis que não sejam as componentes do vento	0 (gradiente de fluxo de entrada e saída nulo)
<b>ISWRTYP=ILWRTYP</b>	Esquema radiativo	Chen
<b>NNQPARM=CLOSURE_TYPE</b>	Parametrização convectiva (esquema e fechamento)	Grell -Grell
<b>IDIFFK</b>	Esquema para o coeficiente de viscosidade	Mellor-Yamada
<b>LEVEL</b>	Complexidade das variáveis de mistura	3

### 5.4 Produtos de previsão do Modelo BRAMS/RAMS

Na Figura 5.4 é mostrada a topografia para os três domínios de simulação.

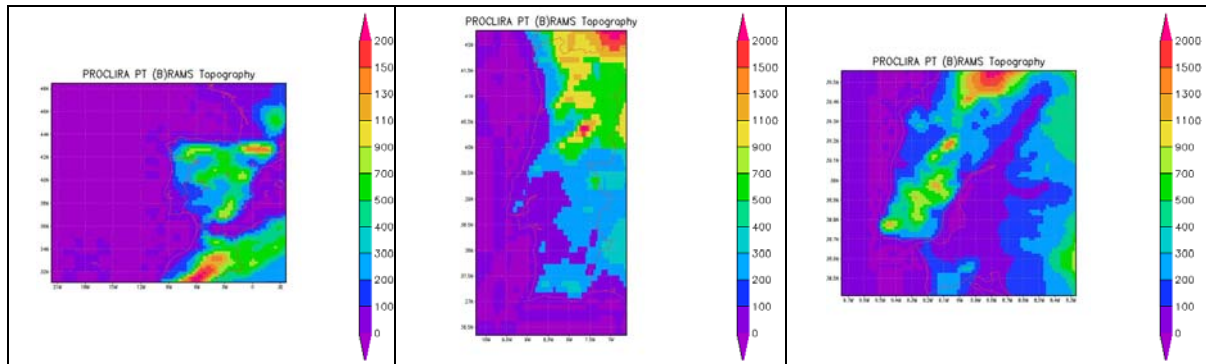


Figura 5.4 Topografia dos três domínios de simulação considerados: Atlântico Norte, Portugal Continental e Lisboa e Vale do Tejo.

Nas figuras seguintes ilustram-se alguns dos produtos disponibilizados na página do PROJECTO PROCLIRA. Na Figura 5.5 apresenta-se o campo da temperatura, para a análise das 00 horas e as previsões para as 6 e para as 12 horas, e o campo de temperatura observado para as mesmas horas (*disponível em <http://www.meteoblue.ch>*). Na Figura 5.6 são apresentados os mesmos campos mas gerados pelo modelo do European Center for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) (*disponível em <http://www.meteo.pt>*). Analisando a Figura 5.5 podemos afirmar que as simulações do campo da temperatura do ar geradas pelo modelo BRAMS/RAMS estão próximas das observadas. Por exemplo, a previsão das 6 horas, do modelo BRAMS/RAMS, para temperatura na zona Lisboa, é de 20 °C (painel da esquerda) e a observada é de 21 °C (painel da direita). Na previsão das 12 horas o modelo BRAMS/RAMS, para a mesma zona, simulou uma temperatura de 30 °C (painel da esquerda), a temperatura observada foi de 28 °C (painel da direita) e a temperatura simulada pelo modelo do ECMWF foi de 30 °C (Figura 5.6).

Na Figura 5.7 apresenta-se o campo da pressão ao nível médio da água do mar, o campo da altura do geopotencial aos 500 hPa e o campo do vento aos 850 hPa da análise das 00 horas e para a previsão das 12 horas, bem como os mapas da pressão ao nível médio da água do mar, para as mesmas horas, disponibilizados pelo Met Office (*disponível em <http://www.metoffice.gov.uk/weather>*) e na Figura 5.8 ilustra-se o campo da pressão ao nível médio da água do mar mas gerados pelo modelo do ECMWF (*disponível em*

<http://www.meteo.pt>).

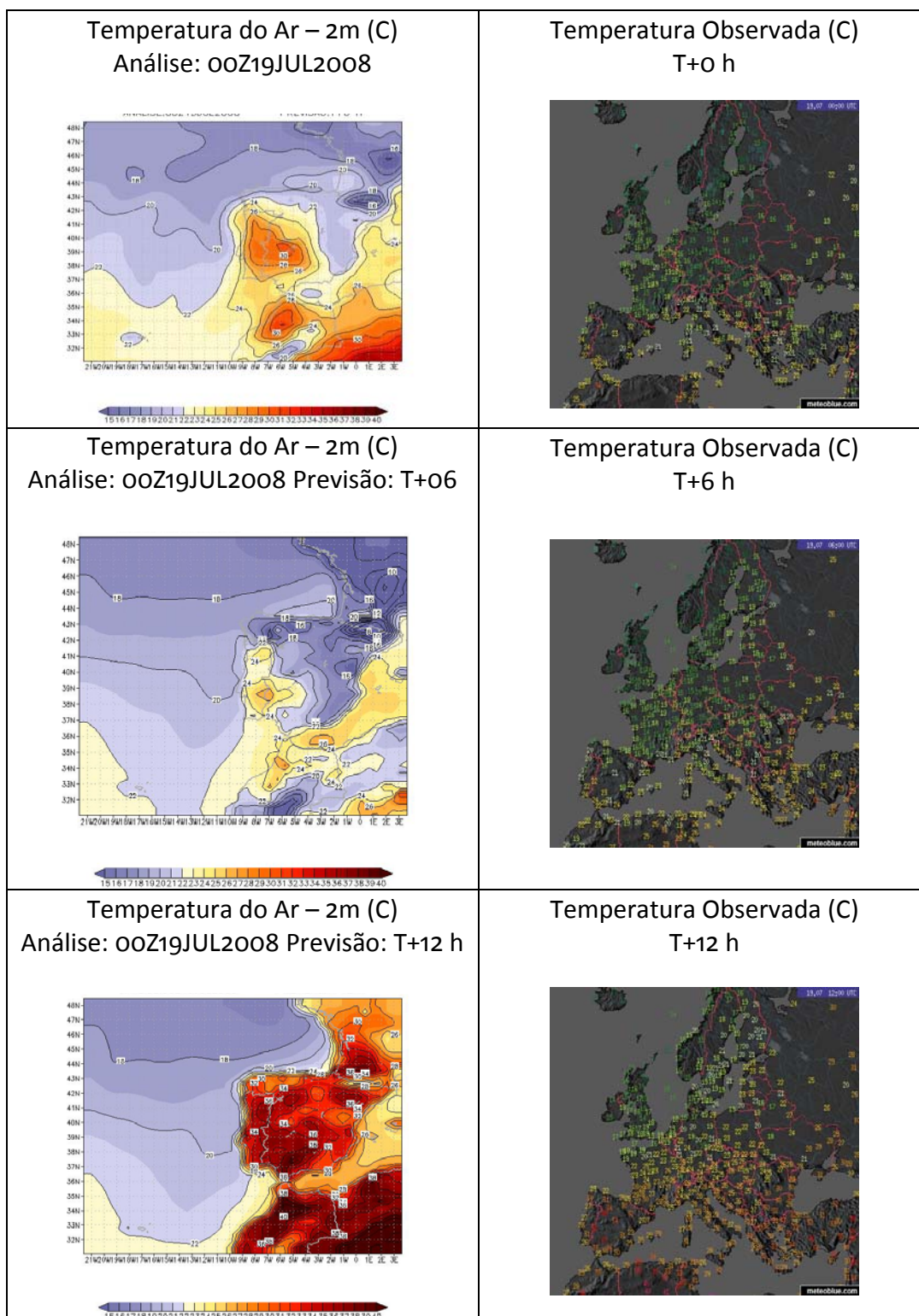


Figura 5.5. No painel da esquerda mostra-se o campo da temperatura do ar a 2m do solo (°C), simulada pelo BRAMS/RAMS, para a análise (T+0 h) e para as previsões (T+06 h e T+12 h). No painel da esquerda apresenta-se o campo da temperatura observado



(disponível em <http://www.meteoblue.ch>).

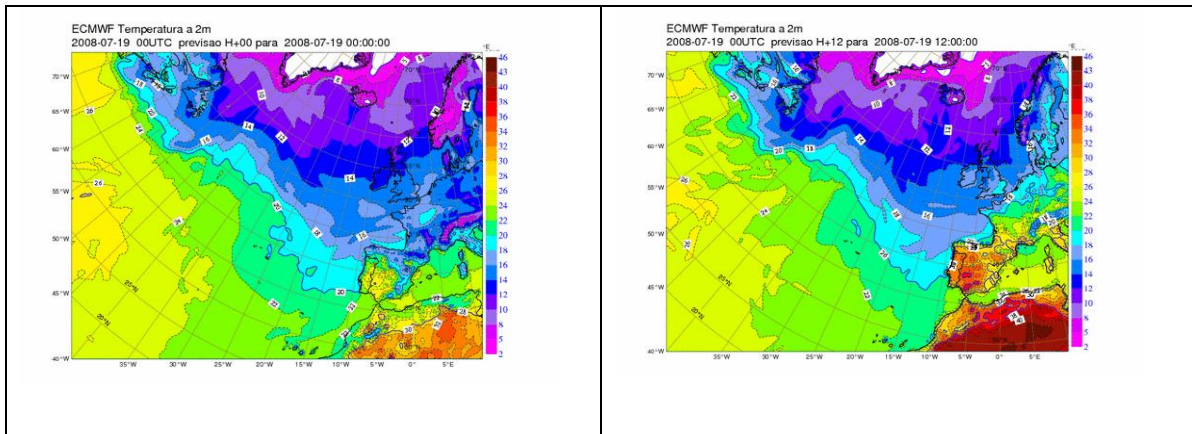


Figura 5.6. À esquerda apresenta-se o campo da temperatura do ar a 2m do solo ( $^{\circ}\text{C}$ ) para a análise (T+0 h) e à direita apresenta-se a previsão das 06 h (T+6 h) tal como disponibilizado pelo Instituto de Meteorologia de Portugal (disponível em <http://www.meteo.pt>).

Analisando a Figura 5.7 (painel da direita e painel da esquerda) e a Figura 5.8 podemos afirmar que o modelo BRAMS/RAMS simulou de forma idêntica o padrão do campo da pressão sob a Península Ibérica, o centro de Alta Pressão perto da fronteira entre a Espanha e a França e a isóbara a norte da Galiza mas subestima, com uma diferença no valor da MSLP de 2hPa, em relação ao modelo do ECMWF.

A Figura 5.7, painel da esquerda, são ilustradas os contornos do campo da altura do geopotencial aos 500 hPa (em dam). Analisando a figura da análise (00Z19JUL2008) podemos observar uma depressão, nos níveis médios da atmosfera, a oeste da costa Portuguesa e outro a sul do Reino Unido, padrão que se torna mais acentuado na previsão das 12 horas (12Z19JUL2008)

O Projecto Proclira é um projecto com objectivos pedagógicos de conteúdo específico vocacionado para aluno do ensino secundário, como tal, não foram implementados critérios de avaliação das simulações do modelo (como por exemplo, os sugeridos por Pielke, 1984) nem foram efectuados estudos de sensibilidade às parametrizações do modelo.



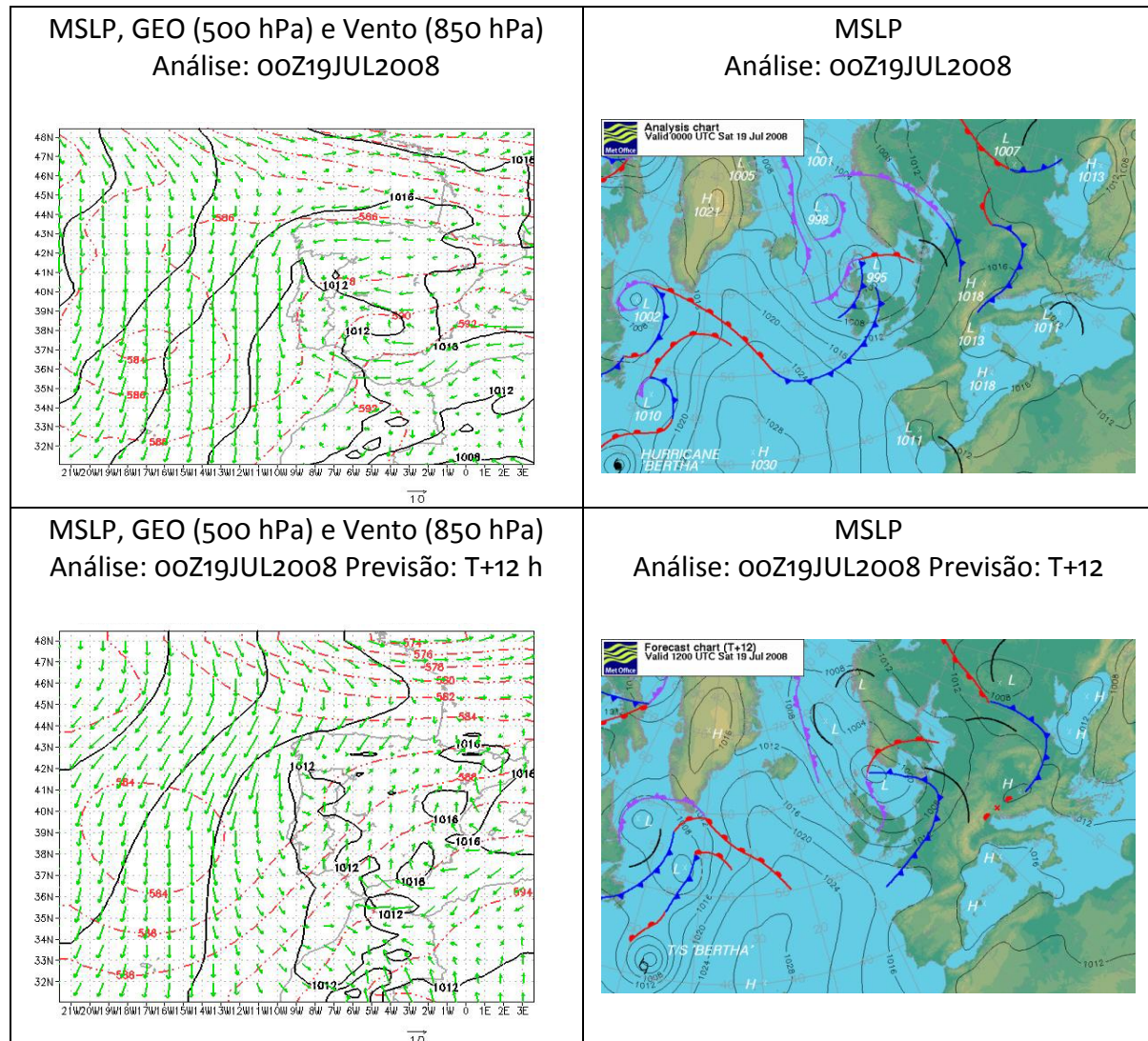


Figura 5.7. No painel da esquerda mostram-se a pressão ao nível médio da água do mar (MSLP), a altura do campo do geopotencial aos 500 hPa (GEO) e o campo do vento aos 850 hPa, para a análise (T+ 0 h) e para a previsão (T+12 h), simulada pelo BRAMS/RAMS. As linhas de contorno pretas identificam a MSLP (hPa), as linhas encarnadas mostram o GEO (dam) e a verde está identificado o campo do vento aos 850 hPa (m/s). No painel da direita apresentam-se os mapas de contornos da pressão ao nível médio da água do mar (MSLP) (hPa) para a análise (T+0 h) e para a previsão (T+12 h). Os máximos da MSLP (anticiclones) estão identificados com a letra H (alta pressão) e os mínimos da MSLP (depressões) estão marcados com a letra L (baixa pressão) (*disponível em <http://www.metoffice.gov.uk/weather>*).

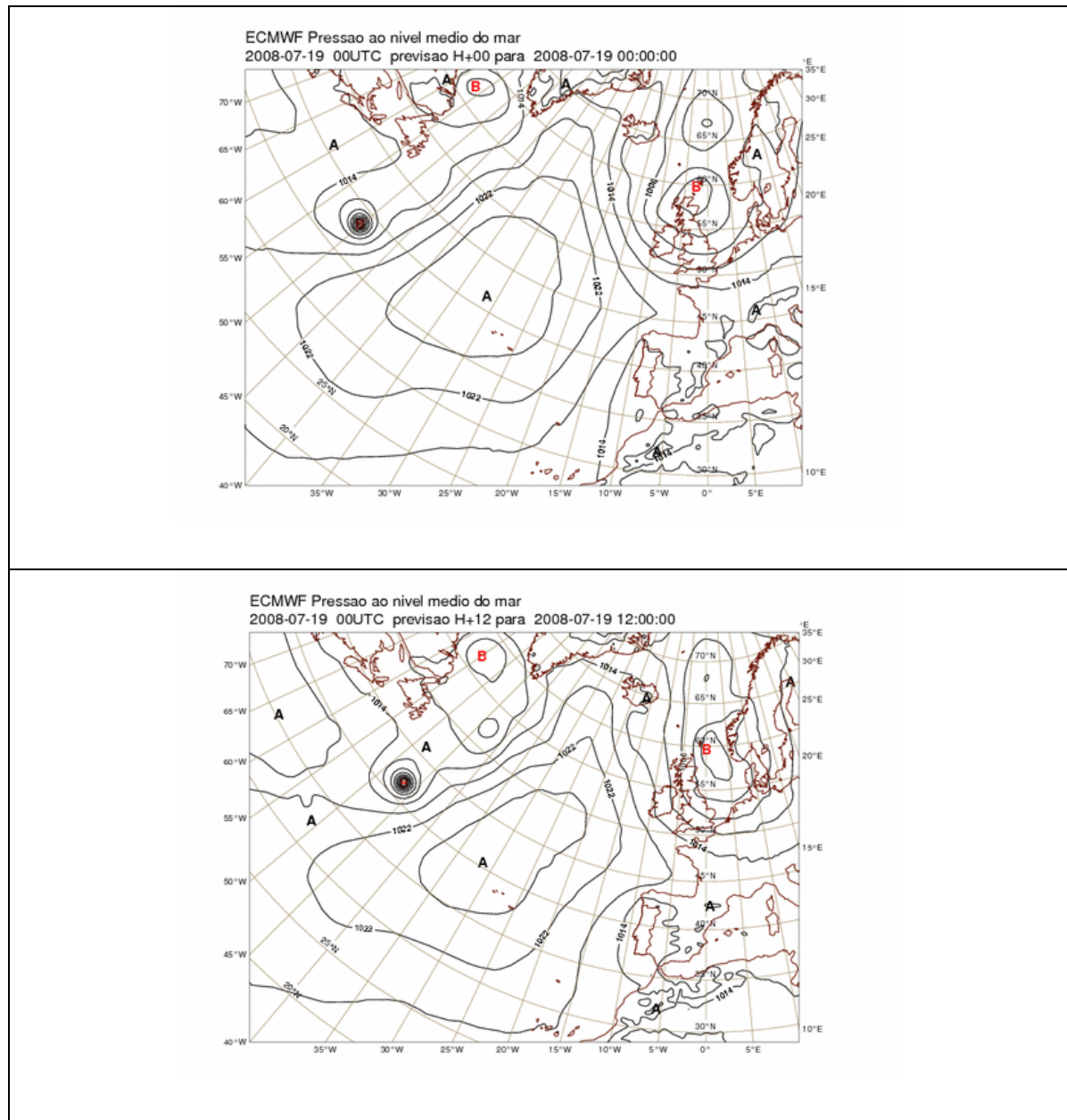


Figura 5.8 No painel superior mostram-se a pressão ao nível médio da água do mar (MSLP) para a análise (T+ 0 h) e no painel inferior ilustra-se a MSLP para a previsão (T+12 h), simulada pelo ECMWF. As linhas de contorno pretas identificam a MSLP (hPa) onde os máximos da MSLP (anticiclones) estão identificados com a letra A (alta pressão) e os mínimos da MSLP (depressões) estão marcados com a letra B (baixa pressão) (*disponível em <http://www.metot.pt>*).



## 6. Formação

Em 2007, o IPCC (IPCC, 2007) concluiu que “o aquecimento do sistema climático é inequívoco, de tal forma são evidentes as observações no aumento da temperatura média do ar e da temperatura média da água do mar, o alargamento da fusão do gelo e da neve e o aumento do nível médio da água do mar”. Embora controverso, representa algum consenso de alguma parte da comunidade científica, cujos trabalhos apontam para uma influência antropogénica, no sistema climático. Este curso, de duração de 25 horas, procura desmitificar algum do alarmismo causado pelas análises de alguns cientistas, ligados ao clima, que concluíram que o planeta está a aquecer, fornecendo formação aos professores na área das ciências geofísicas.

Os objectivos específicos do curso de formação são:

1. Proporcionar ou aprofundar conhecimentos em Meteorologia e aplicações da informação meteorológica e climática a várias actividades, designadamente à área do ambiente;
2. Contribuir para melhorar a compreensão do funcionamento do sistema climático e seus mecanismos de interação, nomeadamente no que diz respeito à influência e inter-relação entre o clima e os vários subsistemas (atmosfera, oceanos, superfície terrestre, massas glaciares continentais e biosfera);
3. Proporcionar formação especializada sobre a interpretação de produtos meteorológicos e sobre a utilização de dados meteorológicos e sua aplicação didáctica;
4. Aprofundar conhecimentos sobre a correlação entre factor do clima e o meio envolvente e sobre a problemática da variabilidade e das alterações climáticas bem como sobre cenários, impactes e medidas de adaptação/mitigação.

### **6.1 Estrutura do Curso**

O curso tem a coordenação científica do Prof. João Corte Real da Universidade de Évora, e está organizado em 4 módulos, num total de 25h distribuídas por 6h diárias e um dia com 7h. O curso foi realizado em Alcochete e Mora, para deste modo se poderem agrupar professores das Escolas do Vale do Tejo e do Alentejo respectivamente. Nesta fase foi dada prioridade às Escolas que irão ter Estações Meteorológicas Automáticas (EMAS). Cada curso foi pensado para ter entre 20 e 25 participantes mas na formação o seu número foi largamente excedido contando com 77 participantes inscritos. O curso foi acreditado e os módulos estão estruturados para abordarem os seguintes conteúdos:

- Módulo I – O Sistema Terra e a sua Atmosfera;
- Módulo II – Introdução à Meteorologia Sinóptica e interpretação de cartas meteorológicas;
- Módulo III – O Sistema Climático e o Clima;
- Modulo IV – Sistemas de Observação da Atmosfera.

O curso terá uma forte componente prática através da análise de cartas meteorológicas, de situações tipo do tempo em Portugal, do tratamento de dados meteorológicos e de exemplos práticos sobre a sua utilização didáctica.

### **6.2 Equipa**

A formação é ministrada por uma equipa de quatro elementos em que a autora está incluída, e é composta pelo Professor Doutor João Corte Real (Universidade Évora), pelo Mestre Célia Gouveia, pelo Meteorologista Licenciado, Sérgio Ferreira e pela Licenciada em Física, ramo Meteorologia e Oceanografia Susana Pereira

### 6.3 Programa da formação

	MÓDULO	CARGA HORÁRIA	FORMADORES
I	A Terra e a sua Atmosfera	4 horas	Prof.ª Célia Gouveia
	Preparação de trabalhos práticos	2 horas	Prof.ª Célia Gouveia
II	Introdução à Meteorologia Sinóptica	2 horas	Met. Sérgio Ferreira
	Interpretação de Cartas Meteorológicas	2 horas	
III	O Sistema Climático e o Clima	6 horas	Prof. Doutor Corte Real
IV	Observando o tempo e o clima	3 horas	Met. Sérgio Ferreira
	Observação, recolha, arquivo, tratamento e utilização dos dados meteorológicos	6 horas	Lic. Susana Pereira



## 7. Considerações Finais

A execução do Projecto PROCLIRA ocorreu durante o período temporal de 12 meses, dos quais a maior fatia de tempo despendido está relacionada com a implementação Web e a implementação operacional do modelo de previsão numérico BRAMS/RAMS.

Neste tipo de projectos, em que é necessário articular alguns preceitos burocráticos, entre as diversas instituições do projecto, podem surgir atrasos relacionados com o estabelecimento de contactos com as escolas para divulgação do projecto, assinatura do termo de compromisso, agendamento e planificação da instalação das EMAS bem como dos cursos de formação.

Os projectos com programas multidisciplinares tendem a cativar os estudantes e podem servir como importante ferramenta de motivação (Joan et al., 2007), contudo no uso de novas tecnologias, são os mais jovens que têm maior facilidade em utilizar os recursos tecnológicos, enquanto os mais velhos (categoria onde se encontram alguns dos professores) tendem a estar pouco familiarizados ou demonstram pouca habilidade no uso dessas tecnologias. Alguns estudos recentes (e.g. Finegold et al., 2002; Maag, 2006; Yasar et al., 2006; Dinov, 2008) apontavam no sentido de ser o professor que menos habilidade tem no uso de novas tecnologias. Nesse sentido, enfatiza-se a mais-valia da componente de formação do Projecto PROCLIRA, tanto na formação específica das EMAS como na formação dirigida aos professores.

Nos contactos com alguns professores de algumas escolas, soube-se que os alunos ficam muito entusiasmados com a instalação da EMA e, em algumas escolas os dados observados são disponibilizados para a escola via TV.

Fruto do potencial que encerra o Projecto PROCLIRA é um projecto a dar continuidade em duas vertentes: a amplificação da rede escolas de EMAS e a exploração dos projectos na área escola que poderiam a curto prazo serem integrados na página do Projecto (apesar de pertencer aos objectivos do PROCLIRA, o cumprimento do calendário escolar



impossibilitou a concretização deste ponto).

Concluo, referindo que face ao crescimento das inovações tecnológicas que vivemos, haverá cada vez mais espaço para a implementação de projectos que procurem a multidisciplinaridade com recurso às novas ferramentas.

## 8. Referências

- ARAKAWA, A.; SCHUBERT, W. H. (1974) Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large scale environment. Part I. *J. Atmos. Sci.*, v. 31, n. 3, p. 674-701.
- Cachapuz, A., Praia, J., Jorge, M. (2002). *Ciência, Educação em Ciência e Ensino das Ciências*. Lisboa: CEEC.
- CHEN, S.; COTTON, W. R. (1988). The sensitivity of a simulated extratropical mesoscale convective system to longwave radiation and ice-phase microphysics. *J. Atmos. Sci.*, v. 45, n. 24, p. 3897-3910.
- Clark, T.L. (1977). A small-scale dynamic model using a terrain-following coordinate transformation. *J. Comput. Phys.*, 24, 186-215.
- Clark, T.L., Farley, R.D. (1984). Severe downslope windstorm calculations in two and three spatial dimensions using anelastic interactive grid nesting: a possible mechanism for gustiness. *J. Atmos. Sci.*, 41, 329-350.
- Clark, T.L., Hall, W.D. (1991). Multi-domain simulations of the time-dependent Navier-Stokes equations: Benchmark error analysis of some nesting procedures. *J. Comput. Phys.*, 92, 456-481.
- Comput. Phys.*, v. 21, p. 251-269.
- Cotton, W.R., Pielke, R.A., Walko, R.L., Liston, G.E., Tremback, C.J., Jiang, H., McAnelly, R.L., Harrington, J.Y., Nicholls, M.E., Carrio, G.G., McFadden, J.P. (2003). RAMS 2001: Current status and future directions. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 82, 5-29. doi: 10.1007/s00703-001-0584-9.
- Davies, H.C. (1976). A lateral boundary formulation for multi-level prediction models, *Quart. J. R. Met.Soc.*, 102, 405-418.
- Dinov, I.D. (2008). Integrated, Multidisciplinary and Technology-Enhanced Science

- Education: The next frontier, *MERLOT Journal of Online Learning and Teaching*, 4, No. 1.
- Durran, D.R. (1981). The effect of moisture on mountain Lee waves. Technical Report PhD. Thesis NTIS PB82156621, Massachusetts Institute of Technology.
- Finegold, D., Mohrman, S., Spreitzer, G. (2002). Age effects o the predictors of technical workers' commitment and willingness to turnover, *Journal of Organizational Behavior*, 23, 655-674.
- Gal-Chen, T., Somerville, R.C.J. (1975). On the use of a coordinate transformation for the solution of the Navier-Stokes equations. *J. Comput. Phys.*, 17, 209-228.
- Gore A. (2006). Uma Verdade Inconveniente.
- GRELL, G. A.; DÉVÈNYI, D. (2002). A Generalized Approach to Parameterizing Convection Combining Ensemble and Data Assimilation Techniques. *Geophys. Res. Lett.*, v. 29, n. 14, p. 38.1-38.4.
- GRELL, G. A.; DÉVÈNYI, D. A Generalized Approach to Parameterizing Convection Combining Ensemble and Data Assimilation Techniques. *Geophys. Res. Lett.*, v. 29, n. 14, p. 38.1-38.4, 2002.
- Grell, G.A.(1993) . Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Mon. Wea. Rev.*, v. 121, n. 3, p. 764-787.
- Harrington, J.Y. (1997). The effects of radiative and microphysical processes on simulated warm and transition season Arctic status. PhD. Diss., Atmospheric Science Paper No 637, Colorado State University, Department of Atmospheric Sciences, Fort Collins, CO 80523, 289 pp.
- Hill, G.E. (1974). Factors controlling the size and spacing of cumulus clouds as revealed by numerical experiments. *J. Atmos. Sci.*, 31, 646.

- Joan, P., Peter, S., Jean-Yves, H., Ron, H., Miguel, E. (2007). Increasing student retention in computer science through research programs for undergraduates, *Proceedings of the 38<sup>th</sup> SIGCSE technical symposium on computer science education*. Covington, Kentucky, USA.
- KAIN, J. S.; FRITSCH, J. M. (1992). The role of the convective “Trigger Function” in numerical forecasts of mesoscale convective systems. *Meteorol. Atmos. Phys.*, v. 49, p. 93-106, 1992.
- KLEMP, J. B.; LILLY, D. K. (1978). Numerical simulation of hydrostatic mountains waves. *J. Atmos. Sci.*, v. 35, n. 1, p. 78-107.
- Klemp, J.B., WILHELMSON, R. B. The simulation of three-dimensional convective
- Kuo, H.L. (1974). Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow, *J. Atmos. Sci.*, 31, 1232-1240.
- Lilly, D.K. (1962). On the numerical simulation of buoyant convection, *Tellus*, XIV, 2, 148-172.
- Maag, M. (2006). Podcasting and MP3 players: Emerging Education Technologies, *Comput Inform Nurs*, 24, 9-13.
- MAHRER, Y.; PIELKE, R. A. (1977) . A numerical study of the airflow over irregular terrain. *Beitrage zur Physik der Atmosphere*, v. 50, p. 98-113.
- MARTINS, J. A. (2006) Efeito dos núcleos de condensação na formação de nuvens e o desenvolvimento da precipitação na região amazônica durante a estação seca. 179 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Mellor, G.L., Yamada, T. (1982). Development of turbulent closure models for planetary boundary layers. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 20, 851-875.
- Messinger, F. and Arakawa, A. (1976). Numerical methods used in atmospheric models. GARP Publication Series, No. 14, WMO/ICSU Joint Organization Committee, 64 pp.

- Orlanski, I. (1976) A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows. *J. Comput. Phys.*, **21**, 251-269.
- Pielke, R.A. (1984). Mesoscale Meteorological Modeling, Academic Press, London.
- Pielke, R.A., Cotton, W.R., Walko, R.L., Tremback, C.J., Lyons, W.A., Grasso, L.D., Nicholls, M-E., Moran, M.D., Wesley, D.A., Lee, T.J., Copeland, J.H. (1992). A Comprehensive Meteorological Modeling System RAMS, *Meteorol. Atmos. Phys.*, **49**, 69-91.
- Smagorinsky, J. (1963). General circulation experiments with the primitive equations. Part I, The basic experiment, *Mon. Wea. Rev.*, **91**, 99-164.
- storm dynamics. *J. Atmos. Sci.*, v. 35, n. 6, p. 1070-1096, 1978a.
- Tremback, C.J. (1990). Numerical Simulation of a Mesoscale Convective Complex: Model Development and Numerical Results. 1990. 245 p. Thesis (Ph. D. in Meteorology), Colorado State University, Fort Collins.
- Tremback, C.J., Tripoli, G.J., Cotton, W.R. (1985). A regional scale atmospheric numerical model including explicit moist physics and hydrostatic time-split scheme. *Preprints, 7<sup>th</sup> AMS conference on numerical weather prediction*, June 17-20, Montreal, Quebec, Canadá, Amerc. Meteor. Soc., Boston, 433-434.
- Tremback, C.J., Walko, R.L. (2004). The Regional Atmospheric Modeling System (RAMS): Development of Parallel Processing Computer Architectures. Technical Note.
- Tripoli, G.J. (1992). An explicit three-dimensional nonhydrostatic numerical simulation of a tropical cyclone. *Meteor. Atmos. Phys.*, Springer-Verlag.
- Tripoli, G.J., Cotton, W.R. (1980). A numerical investigation of several factors contributing to the observed variable intensity of deep convection over south Florida. *J. Appl. Meteor.*, **19**, 1037-1063.
- Tripoli, G.J., Cotton, W.R. (1982). The Colorado State University three-dimensional cloud/mesoscale model – 1982. Part I: General Theoretical framework and sensitivity

- experiments. *J. de Rech. Atmos.*, 16, 185-220.
- Walko, R.L., Band, L.E., Baron, J., Kittel, T.G.F., Lammers, R., Lee, T.J., Ojima, D., Pielke, R.A. Sr, Taylor, C., Tague, C., Tremback, C.J., Vidale, P.J. (2000). Coupled atmosphere-biophysics-hydrology models for environment modeling, *J. Appl. Meteor.*, 39, 931-944.
- Walko, R.L., Tremback, C.J. (1991). RAMS – The Regional Atmospheric Modeling System Version 2C: User's Guide. Published y ASTeR, Inc., P.O. Box 466, Fort Collins, Colorado, 86 pp.
- Yasar, O., Little, L., Tuzun, R., Rajasethupathy, K., Maliekal, L., Tahar, M. (2006). Computational Math Science and Technology (CMST): A strategy to improve STEM workforce and pedagogy to improve Math and Science education. Springer, Berlin/Heidelberg.